

Zeitschrift: Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung von Energie-Geowissenschaftlern; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie

Band: 28 (2023)

Heft: 1-2

Artikel: Stockage en sous-sol : indispensable pour la transition écologique! : Gurtensymposium du 19 octobre 2022, Bern

Autor: Nussbaum, Christophe / Valley, Benoît

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1051711>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Stockage en sous-sol : indispensable pour la transition écologique ! – Gurtensymposium du 19 octobre 2022, Bern

Christophe Nussbaum¹, Benoît Valley^{2,3}

La transition écologique est un processus de transformation profonde de nos sociétés visant à trouver de nouveaux équilibres et de nouvelles façons de produire, de commercer et de consommer qui tiennent compte des limites de notre planète. C'est un processus très large qui nécessite de repenser les flux et les stocks qui traversent nos économies. C'est dans ce contexte que la problématique du stockage dans le sous-sol a été retenue comme thème pour le 5^{ème} Symposium du Gurten qui a eu pour titre « Stockage en sous-sol : indispensable pour la transition écologique! ».

Le symposium a été structuré autour de trois thèmes différents mais partageant un point commun : le stockage souterrain. Les trois thématiques abordées étaient le stockage du CO₂, le stockage des déchets radioactifs et le stockage de la chaleur dans le sous-sol. Chaque thème a été exploré en détail pour mettre en lumière ses spécificités propres.

Le symposium s'est tenu le 19 octobre 2022 et a rassemblé une centaine de participants des bureaux de géologue-conseil (35%), des administrations (25%), de l'enseignement et la recherche (20%), de l'industrie (15%) et d'autres milieux (5%). Il a été organisé par l'association suisse des géologues CHGEOL, le service géologique national de swisstopo, l'académie des sciences naturelles SCNAT, l'association suisse des exploitants d'ins-

tallations de traitement des déchets ASED, l'association suisse de l'industrie du ciment CEMSUISSE et la société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs Nagra. La journaliste Karin Frei a animé les débats et modéré les discussions.

Lors de la préparation du symposium il est apparu que la question de la capture et du stockage du CO₂ est un défi particulièrement important pour l'industrie car il sera nécessaire de les mettre en place pour respecter les accords de Paris et les objectifs de la Confédération d'atteindre la neutralité carbone en 2050. Cette thématique a même influencé le design du flyer du symposium : d'ordinaire vertical, vers la profondeur, cette année le flyer est horizontal proposant une coupe partant de la mer du nord et traversant la suisse et les alpes. Ce visuel reflète une question importante pour le stockage du CO₂ : sera-t-il possible de le stocker en Suisse ou faudra-t-il l'exporter vers la mer du nord par exemple, impliquant des défis logistiques importants et une dépendance des pays étrangers ?

Pour répondre à cette question il faut en finir avec la « boîte noire » du sous-sol et en faciliter l'utilisation. Tel était le titre de la première intervention du symposium par le conseiller national Matthias Jauslin. Dans sa conférence, M. Jauslin a revu les éléments politiques et légaux encadrant l'exploration et l'utilisation du sous-sol. Il a illustré les processus politiques permettant de faire avancer la thématique. Il a aussi lancé un appel à la communauté pour communiquer plus activement sur les questions et les besoins liés à l'utilisation du sous-sol pour le stockage.

¹ Service géologique national, swisstopo

² Association suisse des géologues, CHGEOL

³ Centre d'hydrogéologie et de géothermie, Université de Neuchâtel

Une présentation comparative des possibilités de stockage dans le sous-sol a été ensuite présentée par Christophe Nussbaum du service géologique national. Quels sont les points communs et les différences entre ces applications de stockage souterrain ?

En termes d'utilisation du sous-sol, la question du stockage géologique profond des déchets radioactifs est probablement la plus avancée et peut, dans une certaine mesure, servir de modèle pour d'autres formes de stockage. Avec l'entrée en vigueur de la loi sur l'énergie nucléaire du 21 mars 2003, qui stipule que les déchets radioactifs doivent être enfouis en Suisse, et le plan sectoriel pour le stockage en couches géologiques profondes des déchets radioactifs qui en découle, les règles, les responsabilités et les acteurs sont clairement définis. Les nombreuses campagnes d'investigation menées par la Nagra à la recherche d'un site approprié dans le nord-est de la Suisse ont permis de mieux caractériser le sous-sol de cette région et de développer un savoir-faire technique et scientifique utile à l'exploration du sous-sol pour d'autres usages tels que le stockage du CO₂ ou la géothermie hydrothermale et le stockage de la chaleur dans les roches sédimentaires. L'utilisation du sous-sol à des fins multiples peut conduire à des conflits qu'il conviendra de résoudre.

En ce qui concerne le CO₂, plusieurs mesures sont prévues, dont l'exportation de CO₂ à l'étranger, y compris les mesures compensatoires, mais aussi le stockage domestique dans la mesure du potentiel présent dans le sous-sol suisse. Un programme d'exploration du sous-sol suisse permettrait de définir les zones de stockage potentielles. Pour rappel, le stockage du CO₂ nécessite un réservoir poreux et perméable pouvant accueillir le CO₂ sous forme supercritique et liquide impliquant des profondeurs dépassant typiquement les 800 m. Pour assurer la sécurité du stockage pour le long terme, le réservoir doit être surmonté d'une roche de couverture imperméable appe-

lée caprock ou, mieux encore, d'un système de caprocks multiples. Le stockage du CO₂ doit être sûr pour une période de plusieurs milliers d'années. Les risques doivent être évalués, en particulier la sismicité induite dans le réservoir et les fuites à travers la roche couverture qui pourraient affecter la qualité des eaux souterraines. Les expériences menées dans le laboratoire Mont Terri depuis plus de 10 ans, concentrées sur les argiles à Opalinus, un caprock de référence reconnue dans le monde entier, permettent d'évaluer ces risques et d'améliorer nos connaissances de la physique des roches argileuses faillées.

Pour le stockage de chaleur, l'intérêt principal est dans le stockage saisonnier. Il nécessite l'utilisation d'aquifères aux caractéristiques favorables : bonne géométrie d'échange de chaleur, perméabilité suffisante permettant l'injection de l'eau chaude pour le stockage, faibles gradients hydrauliques et éventuellement limites hydrauliques de l'aquifère barrant les échappatoires pour la chaleur stockée. La question de la protection des eaux souterraines, notamment la limite de perturbation de 3°C à 100 m du point de réinjection limite l'applicabilité du stockage souterrain de chaleur et doit être revue pour permettre une utilisation raisonnée du sous-sol. La planification des projets de stockage de chaleur doit aussi être intégrée avec les producteurs et consommateurs de chaleur en surface et l'évolution future des réseaux de distribution de chaleur.

Les trois thématiques partagent un constat commun : une meilleure connaissance du sous-sol est nécessaire pour répondre aux questions de l'industrie. Ces questions de l'industrie ont été illustrées par David Pluess de CEMSUISSE et Robin Quartier de l'ASED en imaginant un immense ballon flottant dans le paysage du Gurten et représentant le volume de CO₂ que l'industrie devra capturer et stocker. Les questions sont nombreuses et la présentation de messieurs Pluess et Quartier ouvre les débats lors du symposium.

Des réponses ont été apportées par Patricia Hinterholzer de la Nagra dans le contexte du stockage des déchets nucléaires. Lors de sa présentation, elle a illustré le développement de la connaissance du sous-sol par la campagne de forages profonds menée par la Nagra. Ceci a permis aux participants d'appréhender les efforts nécessaires à l'exploration du sous-sol et à voir les résultats obtenus lorsque ces efforts sont déployés.

Le développement de la connaissance passe aussi par la recherche fondamentale et appliquée. Stefan Wiemer du service sismique suisse et de l'ETH Zürich a illustré les efforts de la recherche au travers de deux projets. Le projet DemoUpCarma propose un test à échelle réduite de capture de CO₂, transport et stockage dans les basaltes en Islande. Ce projet permet d'illustrer les défis de l'exportation du CO₂ vers l'étranger et d'imaginer les efforts requis pour passer à une échelle industrielle. Le projet CS-D explore quant à lui les processus en jeu pour le stockage du CO₂ dans des aquifères profonds en Suisse par la réalisation d'expériences de stockage au laboratoire souterrain du Mont Terri.

Les efforts de la recherche ont aussi été illustrés par Cornelia Schmidt-Hattenberger du GFZ Potsdam avec la présentation des résultats du premier démonstrateur de stockage souterrain du CO₂ sur le continent européen : le projet pilote de Ketzin. Les résultats sont encourageants, car le stockage fiable du CO₂ a été démontré. Le projet s'est déroulé avec une communication intense avec le public et les autorités assurant une bonne acceptabilité du projet. Ces résultats illustrent les efforts qui devront être menés en Suisse pour permettre le stockage souterrain du CO₂.

Le potentiel national et la diversité des solutions de stockage de chaleur a été illustré par Michel Meyer des Services Industriels de Genève (SIG). Les systèmes de stockage de chaleur en sonde verticale à basse température sont matures et méritent une applica-

tion plus large. Ils bénéficient de la possibilité de fournir tant de la chaleur que du froid et cette utilisation bimodale permet d'augmenter la durabilité et l'efficacité de ces systèmes. Les développements futurs vont vers l'utilisation des aquifères et l'augmentation des températures de stockage, mais ceci va nécessiter une évolution du cadre législatif autour des projets de stockage. Le stockage souterrain de chaleur a ensuite été illustré par le projet en cours de développement Forsthaus par Nadia Bruderhofer et David Da Silva de TBF Partner.

La dernière présentation de la journée a permis de réitérer l'importance du sous-sol dans la politique climatique et énergétique de la Suisse. Nicole Lupi de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et Sophie Wenger de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) ont revu les politiques fédérales en termes de climat et d'énergie et ont illustré l'importance du stockage souterrain dans ce contexte. La tâche est grande et il faudra travailler ensemble pour être à la hauteur de cette tâche.

Et c'est ensemble que s'est conclu le 5^{ème} Symposium du Gurten avec une discussion modérée par la journaliste Karin Frei et impliquant les présentateurs de la journée. Les rôles de chaque acteur ont pu être discutés. Les synergies entre les domaines ont été identifiées et tournent autour d'un point central : l'exploration du sous-sol suisse doit s'accélérer pour évaluer pleinement le potentiel du stockage souterrain en Suisse.

Der ökologische Wandel ist ein Prozess der tiefgreifenden Transformation unserer Gesellschaften, der darauf abzielt, neue Gleichgewichte und neue Wege der Produktion, des Handels und des Konsums zu finden, die die Grenzen unseres Planeten berücksichtigen. Es handelt sich um einen sehr breit angelegten Prozess, der ein Überdenken der Ströme und Bestände erfordert, die unsere Volkswirtschaften durchqueren. In diesem Zusammenhang wurde das Thema der unterirdischen Speicherung zum Thema des 5. Gurten-Symposium mit dem Titel «Unterirdische Speicherung: essentiell für den ökologischen Wandel!» gewählt.

Das Symposium gliederte sich um drei verschiedene Themen, die jedoch eines gemeinsam hatten: unterirdische Speicherung. Die drei behandelten Themen waren CO₂-Speicherung, Lagerung radioaktiver Abfälle und unterirdische Wärmespeicherung. Jedes Thema wurde im Detail untersucht, um seine eigenen Besonderheiten hervorzuheben.

Das Symposium fand am 19. Oktober 2022 statt und brachte rund 100 Teilnehmende aus beratenden Geologenbüros (35%), Verwaltungen (25%), Bildung und Forschung (20%), Industrie (15%) und anderen Branchen (5%) zusammen. Organisiert wurde sie vom Schweizerischen Geologenverband CHGEOL, der Geologischen Bundesanstalt von swisstopo, der Akademie der Naturwissenschaften SCNAT, dem Schweizerischen Verband der Kläranlagenbetreiber ASED, dem Schweizerischen Zementindustrieverband CEMSUISSE und der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle Nagra. Die Journalistin Karin Frei moderierte die Debatten und moderierte die Diskussionen.

In der Vorbereitung des Symposiums wurde deutlich, dass das Thema CO₂-Abscheidung und -Speicherung eine besonders wichtige Herausforderung für die Industrie darstellt, da diese im Einklang mit den Pariser

Vereinbarungen und den Zielen des Bundes zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2050 umgesetzt werden müssen. Dieses Thema beeinflusste sogar die Gestaltung des Symposiumsflyers: Normalerweise vertikal, in die Tiefe, ist der Flyer in diesem Jahr horizontal und bietet einen Schnitt von der Nordsee über die Schweiz und die Alpen. Dieses Design spiegelt eine wichtige Frage für die Speicherung von CO₂ wider: Ist es möglich, es in der Schweiz zu speichern, oder muss es zum Beispiel in die Nordsee exportiert werden, was mit erheblichen logistischen Herausforderungen und der Abhängigkeit vom Ausland verbunden ist?

Um diese Frage zu beantworten, müssen wir der «Black Box» des Untergrundes ein Ende setzen und seine Nutzung erleichtern. So lautete der Titel der ersten Rede des Symposiums von Nationalrat Matthias Jauslin. In seinem Vortrag ging Herr Jauslin auf die politischen und rechtlichen Elemente ein, die die Erkundung und Nutzung des Untergrundes regeln. Er veranschaulichte die politischen Prozesse, um das Thema voranzubringen. Er appellierte auch an die Gemeinschaft, aktiver über Fragen und Bedürfnisse im Zusammenhang mit der Nutzung des Untergrunds für die Lagerung zu kommunizieren.

Eine vergleichende Darstellung der Möglichkeiten der Speicherung im Untergrund wurde dann von Christophe Nussbaum von der Landesgeologie vorgestellt. Was sind die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen diesen unterirdischen Speicheranwendungen?

Im Hinblick auf die unterirdische Nutzung ist die Frage der geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle wohl am weitesten fortgeschritten und kann in gewisser Weise als Vorbild für andere Formen der Endlagerung dienen. Mit dem Inkrafttreten des Kernenergiegesetzes vom 21. März 2003, das vorschreibt, dass radioaktive Abfälle in der Schweiz vergraben werden müssen, und dem daraus resultierenden Sachplan für die

geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle sind die Regeln, Verantwortlichkeiten und Akteure klar definiert. Die zahlreichen Untersuchungskampagnen der Nagra auf der Suche nach einem geeigneten Standort in der Nordostschweiz haben es ermöglicht, den Untergrund dieser Region besser zu charakterisieren und technisches und naturwissenschaftliches Know-how zu entwickeln, das für die Erkundung des Untergrunds für andere Nutzungen wie CO₂-Speicherung oder hydrothermale Geothermie und Wärmespeicherung in Sedimentgesteinen nützlich ist. Die Nutzung des Untergrunds für mehrere Zwecke kann zu Konflikten führen, die gelöst werden müssen.

In Bezug auf CO₂ sind mehrere Massnahmen geplant, darunter der Export von CO₂ ins Ausland, inklusive Ausgleichsmassnahmen, aber auch die Speicherung im Inland im Umfang des im Schweizer Untergrund vorhandenen Potenzials. Ein Schweizer Baugrunderkundungsprogramm würde es ermöglichen, potenzielle Lagerflächen zu definieren. Zur Erinnerung: Die Speicherung von CO₂ erfordert einen porösen und durchlässigen Tank, der CO₂ in überkritischer und flüssiger Form in Tiefen von typischerweise mehr als 800 m aufnehmen kann. Um die langfristige Lager-sicherheit zu gewährleisten, muss der Tank mit einem undurchlässigen Deckgestein überzogen werden, das als Deckgestein oder besser noch als Mehrfachgesteinssystem bezeichnet wird. Die Speicherung von CO₂ muss über einen Zeitraum von mehreren tausend Jahren sicher sein. Die Risiken müssen bewertet werden, insbesondere die im Reservoir induzierte Seismizität und Leckagen durch das Deckgestein, die die Grundwasserqualität beeinträchtigen könnten. Die Experimente, die seit mehr als 10 Jahren im Labor von Mont Terri durchgeführt werden und sich auf Tone bei Opalinus, einem weltbekannten Referenz-Deckgestein, konzentrieren, ermöglichen es, diese Risiken abzuschätzen und unser Wissen über die Physik der verworfenen Tongesteine zu verbessern.

Bei der Wärmespeicherung liegt das Hauptinteresse auf der saisonalen Speicherung. Es erfordert die Verwendung von Grundwasserleitern mit günstigen Eigenschaften: gute Wärmeaustauschgeometrie, ausreichende Durchlässigkeit für die Injektion von Warmwasser zur Speicherung, geringe hydraulische Gradienten und möglicherweise hydraulische Grenzen des Grundwasserleiters, die Schlupflöcher für gespeicherte Wärme blockieren. Die Frage des Grundwasserschutzes, insbesondere die Störgrenze von 3°C in 100 m Entfernung vom Reinjektionspunkt, schränkt die Anwendbarkeit der unterirdischen Wärmespeicherung ein und muss überprüft werden, um eine rationelle Nutzung des Untergrunds zu ermöglichen. Die Planung von Wärmespeicherprojekten muss auch mit den Erzeugern und Verbrauchern von Wärme an der Erdoberfläche und der zukünftigen Entwicklung von Wärmeverteilnetzen integriert werden.

Die drei Themen haben eine gemeinsame Beobachtung: Eine bessere Kenntnis des Untergrunds ist notwendig, um die Fragen der Industrie beantworten zu können. David Pluess von CEMSUISSE und Robin Quartier von ASED veranschaulichten diese Probleme der Branche, indem sie sich einen riesigen Ballon vorstellten, der in der Gurtenlandschaft schwebt und die Menge an CO₂ darstellt, die die Industrie auffangen und speichern muss. Die Fragen sind zahlreich und der Vortrag von Herrn Pluess und Herrn Quartier eröffnet die Debatten während des Symposiums.

Antworten lieferte Patricia Hinterholzer von der Nagra im Zusammenhang mit der Lagerung nuklearer Abfälle. In ihrem Vortrag veranschaulichte sie die Entwicklung des Wissens über den Untergrund durch die Tiefbohrkampagne der Nagra. Dies ermöglichte es den Teilnehmern, die Anstrengungen zu verstehen, die für die Erkundung des Untergrunds erforderlich sind, und die Ergebnisse zu sehen, die erzielt werden, wenn diese Bemühungen eingesetzt werden.

Zur Entwicklung von Wissen gehört auch Grundlagen- und angewandte Forschung. Stefan Wiemer vom Schweizerischen Erdbebendienst und der ETH Zürich veranschaulichte die Forschungsanstrengungen anhand von zwei Projekten. Das Projekt DemoUpCarma schlägt einen Test zur Abscheidung, zum Transport und zur Speicherung von CO₂ in kleinem Massstab in Basalten in Island vor. Dieses Projekt veranschaulicht die Herausforderungen des CO₂-Exports ins Ausland und stellt sich die Anstrengungen vor, die erforderlich sind, um auf einen industriellen Massstab zu skalieren. Das Projekt CS-D erforscht die Prozesse der Speicherung von CO₂ in tiefen Grundwasserleitern in der Schweiz, indem es Speicherexperimente im unterirdischen Labor Mont Terri durchführt.

Cornelia Schmidt-Hattenberger vom GFZ Potsdam veranschaulichte die Forschungsbemühungen auch mit der Präsentation der Ergebnisse des ersten unterirdischen CO₂-Speicherdemonstrators auf dem europäischen Kontinent: dem Pilotprojekt Ketzin. Die Ergebnisse sind ermutigend, da eine zuverlässige Speicherung von CO₂ nachgewiesen werden konnte. Das Projekt fand in intensiver Kommunikation mit der Öffentlichkeit und den Behörden statt, um eine gute Akzeptanz des Projekts zu gewährleisten. Diese Ergebnisse verdeutlichen die Anstrengungen, die in der Schweiz unternommen werden müssen, um die unterirdische Speicherung von CO₂ zu ermöglichen.

Das nationale Potenzial und die Vielfalt von Wärmespeicherlösungen wurde von Michel Meyer von Services Industriels de Genève (SIG) aufgezeigt. Niedertemperatur-Wärmespeichersysteme mit vertikaler Sonde sind ausgereift und verdienen eine breitere Anwendung. Sie profitieren von der Möglichkeit, sowohl Wärme als auch Kälte bereitzustellen, und diese bimodale Nutzung erhöht die Langlebigkeit und Effizienz dieser Systeme. Zukünftige Entwicklungen gehen in Richtung der Nutzung von Grundwasserleitern und

der Erhöhung der Speichertemperaturen, aber dies erfordert eine Weiterentwicklung des Rechtsrahmens für Speicherprojekte. Die unterirdische Wärmespeicherung wurde dann durch das laufende Forsthaus-Projekt von Nadia Bruderhofer und David Da Silva von TBF-Partner veranschaulicht.

Der letzte Vortrag des Tages bekräftigte die Bedeutung des Untergrunds für die Klima- und Energiepolitik der Schweiz. Nicole Lupi vom Bundesamt für Energie (BFE) und Sophie Wenger vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) gaben einen Überblick über die Klima- und Energiepolitik des Bundes und verdeutlichten die Bedeutung der unterirdischen Speicherung in diesem Zusammenhang. Die Aufgabe ist grossartig, und wir müssen zusammenarbeiten, um der Aufgabe gewachsen zu sein.

Gemeinsam endete das 5. Gurten-Symposium mit einer Diskussion, die von der Journalistin Karin Frei moderiert wurde und an der die Referentinnen und Referenten des Tages beteiligt waren. Die Rollen der einzelnen Schauspieler konnten besprochen werden. Die Synergien zwischen den Bereichen sind identifiziert und drehen sich um einen zentralen Punkt: Die Erkundung des Schweizer Untergrunds muss beschleunigt werden, um das Potenzial der unterirdischen Speicherung in der Schweiz vollumfänglich beurteilen zu können.